



NSC-ONSC

Publication Reference

GLA-27

ข้อเสนอแนะการตีความและการนำ EURAMET cg - 13 ไปใช้สำหรับการสอบเทียบ
Temperature block calibrators

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ ๑ 10400
โทรศัพท์ 0-2202-3491
โทรสาร 0-2354-3045

รายชื่อคณะทำงานข้อเสนอแนะการตีความและการนำ EURAMET cg - 13 ไปใช้สำหรับการสอบเทียบ
Temperature block calibrators

ที่ปรึกษา

ร.ท.อุทัย นรนิ่ม

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

ประธานกรรมการ

นางสาวจรรยารัตน์ เหย่ากุลบดี

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

กรรมการ

นางสาวบุษบา แซ่ลิ้ม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นายสมชาย ศรีหนู

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

นายสมชาย เหลืองพีระชัย

บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน)

นายประจักษ์เพ็ชร ทองสุโกชาติ

บริษัท เทอร์โมโลยี จำกัด

นางภาลณี ปราบภัยพาล

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

นายพิเชษ วงษ์นุช

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

นายอมรเทพ ลิ้เกรียงไกร

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

กรรมการและเลขานุการ

นางสาวอ้อยใจ อ่องหรัาย

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

นายคมสัน ยิ่งจรรูญ

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

บทนำ

เอกสารนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้เป็นเอกสารวิชาการที่ใช้ประกอบและสนับสนุนการตีความเอกสารข้อเสนอแนะการสอบเทียบ Temperature block calibrators ขององค์การมาตรฐานยุโรปหรือ EURAMET โดยวัตถุประสงค์ของการจัดทำเอกสารนี้คือ เพื่อสนับสนุนการนำข้อเสนอแนะ cg-13 ไปใช้ในการพัฒนาวิธีการและคู่มือการสอบเทียบ Temperature block calibrators และเพื่อให้เป็นเอกสารที่ผู้มีส่วนได้เสียในกระบวนการสอบเทียบและการรับรองระบบงานของห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถนำไปศึกษาและใช้ประกอบการพัฒนาความเข้าใจ รวมทั้งกระบวนการสอบเทียบมาตรฐานการวัดดังกล่าวซึ่งมีใช้อย่างแพร่หลาย

นอกจากนี้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ยังมีนโยบายที่จะยกระดับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ โดยผลักดันให้ใช้วิธีการสอบเทียบที่เทียบเท่า หรือสามารถอ้างอิงได้กับวิธีการมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาโดยองค์กรที่มีความสามารถทางวิชาการและความน่าเชื่อถือ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติซึ่งเป็นผู้ริเริ่มการจัดทำโครงการพัฒนาเอกสารนี้ มีฐานะเป็นผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการเกี่ยวกับการสอบเทียบมาตรฐานการวัด จึงมีความรับผิดชอบในการสร้างความรู้ความเข้าใจในประเด็นดังกล่าวให้แก่ผู้มีส่วนได้เสีย โดยสร้างความชัดเจน ความกระจ่างและลดความคลุมเครือ

ดังนั้นการพัฒนาและจัดทำเอกสารนี้จึงดำเนินไปด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้สามารถรวบรวมประเด็นที่คลุมเครือและอาจจะจำเป็นต้องตีความไว้ให้ครบ ซึ่งการดำเนินการพัฒนาเอกสารนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะทำงานที่ประกอบไปด้วยผู้ทรงคุณวุฒิและมีประสบการณ์ในการสอบเทียบมาตรฐานการวัดในการให้ความเห็นและปรับแก้ไขต้นฉบับในทุกขั้นตอน

สารบัญ

วัตถุประสงค์

5

1. ขอบข่าย (Scope)	5
คำนิยาม (Definition)	6
เอกสารและมาตรฐานอ้างอิง (References)	7
2. ความสามารถในการสอบเทียบ (Calibration capability)	7
3. คุณลักษณะ (Characterization)	8
4. การสอบเทียบ (Calibration)	11
5. การรายงานผล (Report)	12
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการประเมินค่าความไม่แน่นอน	13
ภาคผนวก ข ขั้นตอนสำหรับการหาผลกระทบของการกระจายอุณหภูมิตามแนวแกน (Axial)	16
ภาคผนวก ค คำแนะนำของคณะกรรมการเทคนิคของ EURAMET "Thermometry" สำหรับการใช้งานของ Temperature block calibrators	18
ภาคผนวก ง การประเมินผลกระทบเนื่องจากการนำความร้อน (Heat conduction)	19
ภาคผนวก จ รูปภาพประกอบ	21

เอกสารวิชาการ

ข้อแนะนำการตีความและการนำ EURAMET Calibration Guide No. 13 ไปใช้สำหรับการสอบเทียบ
Temperature block calibrators

วัตถุประสงค์

- เอกสารนี้เป็นข้อแนะนำ (Guidance document) ดังนั้นรายละเอียดเนื้อหาของเอกสารนี้จึงไม่สามารถนำไปบังคับใช้เช่นเดียวกับข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติตาม
- เอกสารนี้เป็นเอกสารทางด้านวิชาการเพื่อขยายความวิธีการสอบเทียบ Temperature block calibrators

ตาม EURAMET cg – 13 ให้มีการปฏิบัติเป็นไปในแนวทางเดียวกัน เพื่อประโยชน์ของการรับรองห้องปฏิบัติการสอบเทียบของสำนักงานคณะกรรมการมาตรฐานแห่งชาติ (Office of the National Standardization Council of Thailand, ONSC) และเพื่อแนะนำห้องปฏิบัติการสอบเทียบในการจัดทำขั้นตอนการสอบเทียบ รวมถึงการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

- กรณีห้องปฏิบัติการสอบเทียบไม่สามารถดำเนินการตามรายละเอียดที่ระบุไว้ใน EURAMET cg – 13 และเอกสารนี้ได้ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องแสดงหลักฐานเพิ่มเติมในส่วนของการปฏิบัติที่เบี่ยงเบนไปจากเอกสารทั้งสองฉบับนี้

1. ขอบข่าย (Scope)

1.1 เอกสารฉบับนี้ ใช้สำหรับเป็นแนวทางในการสอบเทียบแหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบ Temperature block calibrators ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในแท่งวัสดุได้ เครื่องมือ Temperature block calibrators ใช้ประโยชน์สำหรับการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ชนิดต่าง ๆ

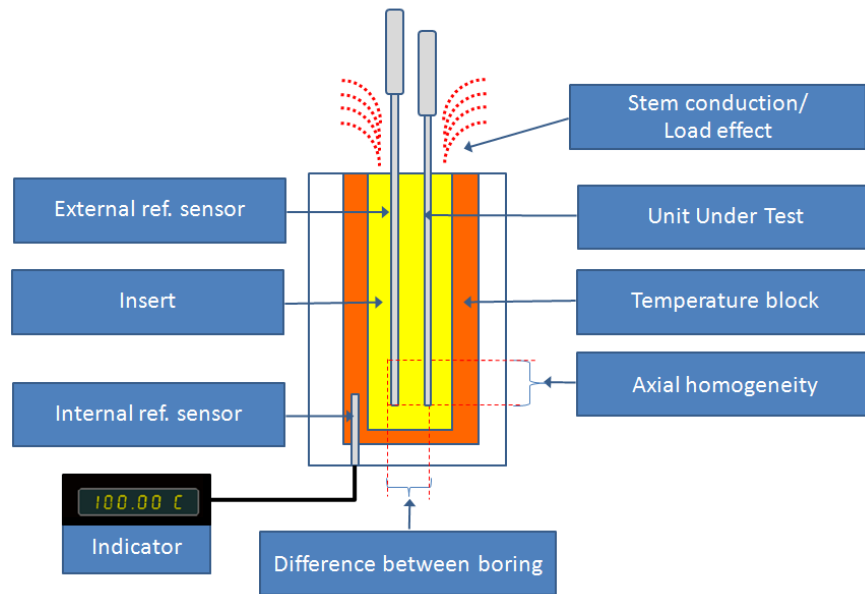
ข้อควรระวัง:

การสอบเทียบมีความแตกต่างจากการประเมินคุณลักษณะของเครื่องมือ การประเมินคุณลักษณะ คือ การหาพฤติกรรมทางอุณหภูมิของเครื่องมือ (ความเป็นหนึ่งเดียวกันของอุณหภูมิและความเสถียรตามเวลา) ส่วนการสอบเทียบ คือ การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิในบริเวณที่กำหนด (โดยทั่วไปแบบปริมาตร) ของเครื่องมือ (ระบุไว้อย่างชัดเจน) กับค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากตัวอ่านอุณหภูมิ คุณลักษณะของเครื่องมือที่ได้ประเมินมาก่อนหน้านั้น จะต้องนำมาพิจารณาร่วมในค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบนี้ด้วย

1.2 เอกสารนี้ใช้สำหรับการสอบเทียบเครื่องมือ Temperature block calibrators ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -100 °C ถึง +1300 °C โดยจะต้องไม่ใช้งานเกินกว่าช่วงอุณหภูมิที่ระบุไว้โดยบริษัทผู้ผลิต

นิยาม

- แหล่งกำเนิดอุณหภูมิแบบแท่ง (Temperature block calibrators) คือ แหล่งกำเนิดอุณหภูมิประเภทหนึ่งภายในประกอบด้วย แท่งวัสดุตัวกลางนำความร้อน (Insert) ด้านในมีช่องขนาดต่างๆ สำหรับใส่เทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ โดยแท่งดังกล่าวบรรจุอยู่ในชุดกำเนิดความร้อน และควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ มีการแสดงผลของตัวอ่านเป็นค่าอุณหภูมิที่สัมพันธ์กัน



รูปที่ 1 องค์ประกอบต่างๆ ของ Temperature block calibrators

- บริเวณทำการวัด (Measurement zone) หมายถึง บริเวณภายในวัสดุตัวกลางนำความร้อนที่กำหนดระยะในแนวแกนตั้งและ/หรือแนวรัศมีไว้อย่างชัดเจน และผ่านการประเมินคุณลักษณะความเป็นหนึ่งเดียวกันและความเสถียรของอุณหภูมิภายในไว้แล้วก่อนการใช้งาน บริเวณทำการวัดควรต้องระบุไว้ในใบรายงานผลสอบเทียบ Temperature block calibrators ผู้ใช้งานควรสอบเทียบหรือทดสอบเทอร์โมมิเตอร์ภายในบริเวณนี้เท่านั้น
- ความเป็นหนึ่งเดียวกันของอุณหภูมิ (Homogeneity or Uniformity) คือ คุณสมบัติที่สำคัญหนึ่งของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ เพื่อป้องกันการกระจายของอุณหภูมิที่พื้นที่ใช้งานของแหล่งกำเนิดที่อุณหภูมิใด ๆ ซึ่งการกระจายของอุณหภูมินี้อาจส่งผลกระทบต่อผลการวัดระหว่างเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์ที่ถูกสอบเทียบ ซึ่งควรประเมินให้ครอบคลุมทั้งในแนวแกน (Axial homogeneity) และในแนวรัศมี (Radial homogeneity)
- ความเสถียรของอุณหภูมิ (Stability) หมายถึง การคงที่ของอุณหภูมิ ณ อุณหภูมิใด ๆ ในระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาทีหลังจากระบบเข้าสู่สมดุล หากอุณหภูมินี้มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้น ๆ หรือแหล่งกำเนิดอุณหภูมิมีความไม่เสถียร (Instability) เกิดขึ้น จะส่งผลกระทบต่อค่าอุณหภูมิที่อ่านได้

หมายเหตุ ระบบเข้าสู่สมดุล หมายถึง หลังจากสภาวะที่อุณหภูมิเข้าสู่จุดที่ตั้งค่าไว้ (Set point) ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง ความหมายของคำอื่น ๆ นอกเหนือจากที่ใช้ในเอกสารฉบับนี้ ให้เป็นไปตาม JCGM 200: 2012 International vocabulary of metrology (VIM)

เอกสารและมาตรฐานอ้างอิง

เอกสารและมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในเอกสารฉบับนี้ประกอบด้วย

- EURAMET cg-13: Guidelines on the Calibration of Temperature block calibrators Version 4.0 (2017)
- TPS 38 The Implementation of EURAMET/cg-13 Calibration of Temperature Block Calibrators Ed.4 (2009)
- IEC 60751: Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors (2008)
- TM/CG03/TT01/V02: NIMT Guidelines for calibration of IPRT (2014)
- EURAMET cg-8: Guidelines for calibration of thermocouples (2011)
- TM/CG04/TT01/V02: NIMT Guideline for calibration of Thermocouples (2015)
- ASTM E230: Standard Specification for Temperature-Electromotive Force (emf) Tables for Standardized Thermocouples (2017)
- JCGM 100: 2008 (Guide to the expression of uncertainty in measurement)
- JCGM 106: 2012 Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment
- JCGM 200: 2012 International vocabulary of metrology
- The International System of Units (SI): 9th edition (2019)
- DKD-R5-4 (Draft): Guideline of Deutscher Kalibredienst (DKD, German Calibration Service) for the calibration of temperature block calibrators (1996)
- EA10/13: EA Guidelines on the Calibration of Temperature Block Calibrators (2000)

2. ความสามารถในการสอบเทียบ (Calibration capability)

2.1 เอกสารฉบับนี้สามารถนำไปใช้งานได้เมื่อ Temperature block calibrators เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้:

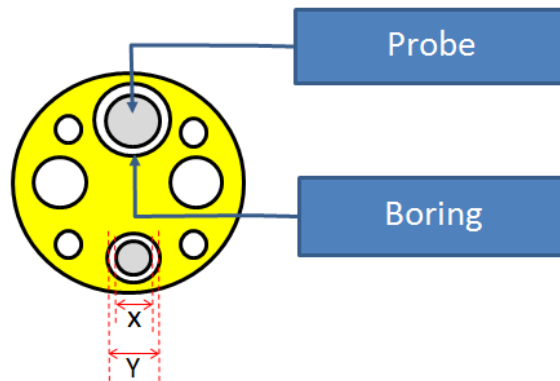
ห้องปฏิบัติการต้องมีการระบุบริเวณทำการวัด (Measurement zone) ของช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ไว้อย่างชัดเจน ที่ต้องรู้ค่าความเป็นหนึ่งเดียวกันของอุณหภูมิ และมีความเหมาะสมกับเทอร์โมมิเตอร์ที่จะทำการสอบเทียบ บริเวณทำการวัดมักจะนับจากบริเวณลึกสุดของช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ หากบริเวณทำการวัดเป็นบริเวณอื่นควร ต้องมีการระบุตำแหน่งให้ชัดเจน

2.2 ห้องปฏิบัติการต้องมั่นใจว่า การสอบเทียบเป็นไปตามสภาวะดังต่อไปนี้:

ในช่วงอุณหภูมิ -100 °C ถึง +660 °C เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ (Boring) หรือเมื่อมี ปลอกเสริม (Bushing) สำหรับปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ ควรมีขนาดมากกว่าแต่ ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเทอร์โมมิเตอร์ และในช่วงอุณหภูมิ +660 °C ถึง +1300 °C เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์หรือเมื่อมีปลอกเสริม ควรมีขนาดมากกว่าแต่ ไม่เกิน 1.0 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเทอร์โมมิเตอร์ ในอีกทางเลือกหนึ่งอาจใช้ สื่อตัวกลางการนำความร้อน เช่น น้ำมัน ที่มีความเหมาะสมกับวัสดุของแท่ง (Insert), เทอร์โมมิเตอร์ และช่วง

อุณหภูมิที่ใช้งาน หรือวิธีการอื่น ๆ การสัมผัสเชิงความร้อน (Thermal contact) ที่ไม่เหมาะสม เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่ส่งผลกระทบต่ออย่างมากในการสอบเทียบ จะต้องนำมาประเมินเสมอสำหรับการสอบเทียบที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูง

ในทุกกรณีการติดตั้งระบบการสอบเทียบ (เทอร์โมมิเตอร์และ Temperature block calibrators) ต้องออกแบบให้มีการนำความร้อนตลอดความยาว เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อค่าความผิดพลาดและค่าความไม่แน่นอนมากเกินไป (โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูง) ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบต่ออย่างมากในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 2 ภาพตัวอย่างแสดงระยะระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ (Y) และ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของโพรบ (X) โดยกำหนดให้ $Y-X$ ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร (ที่อุณหภูมิ $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+660\text{ }^{\circ}\text{C}$) และ $Y-X$ ไม่เกิน 1.0 มิลลิเมตร (ที่อุณหภูมิมากกว่า $+660\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+1300\text{ }^{\circ}\text{C}$)

3. คุณลักษณะ (Characterization)

3.1 ทัวไป

- 3.1.1 เมื่อ Temperature block calibrators ถูกใช้งานหรือสอบเทียบ คุณลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในบริเวณทำการวัด อธิบายต่อไปในหัวข้อ 3.2 ถึง 3.5 จะต้องถูกตรวจสอบและจัดทำเป็นเอกสาร
- 3.1.2 การตรวจสอบคุณลักษณะ ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขการวัด ที่ระบุไว้ในหัวข้อ 2.1 และ 2.2
- 3.1.3 ถ้าใช้ปลอกเสริม (Bushing) เพื่อปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามหัวข้อ 2.2 วัสดุที่ใช้ควรเป็นชนิดเดียวกันกับวัสดุของช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ที่มาจากบริษัทผู้ผลิต
- 3.1.4 ถ้าในการสอบเทียบ Temperature block calibrators มีหนึ่งช่องหรือหลายช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ใช้งานร่วมกับปลอกเสริม ห้องปฏิบัติการควรตกลงร่วมกับลูกค้าว่าได้ทำการใช้ปลอกเสริมในการสอบเทียบ และจำเป็นต้องทำเครื่องหมายระบุตำแหน่งให้ชัดเจน

3.1.5 เทอร์โมมิเตอร์ (Test thermometer) ที่นำมาใช้ตรวจสอบคุณลักษณะ ที่จะอธิบายต่อไปในหัวข้อ 3.2 ถึง 3.4 นั้นไม่จำเป็นต้องสอบเทียบ เนื่องจากการวัดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม ดีต้องทราบค่าความไว (Sensitivity) ณ อุณหภูมิที่ทำการวัดของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดที่นำมาใช้ อย่างชัดเจนด้วยค่าความไม่แน่นอนในระดับที่น้อย ค่าความไวสามารถทราบได้จากมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และตรวจสอบโดยการวัดที่ควบคุม (อุณหภูมิที่แตกต่าง) และ **ควรตรวจสอบความเสถียรของเทอร์โมมิเตอร์ระหว่างตรวจสอบคุณลักษณะ**

หมายเหตุ ค่าความไว (Sensitivity) ในที่นี้ นอกจากจะหมายถึงค่าคงที่สัมประสิทธิ์เฉพาะตัวของเซ็นเซอร์แล้วยังหมายถึง ค่าความไวของการตอบสนองต่ออุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์เซ็นเซอร์ **โดยความถูกต้องและความไวของเซ็นเซอร์ต้องไม่กระทบกับผลการสอบเทียบ**

3.1.6 การตรวจสอบต่อไป ในหัวข้อ 3.2 - 3.5 ควรยึดเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับห้องปฏิบัติการ

3.2 การประเมินค่าความเป็นหนึ่งเดียวกันของอุณหภูมิแนวแกนในบริเวณที่ใช้งาน (Axial homogeneity)

ผลกระทบของการกระจายของค่าอุณหภูมิในบริเวณทำการวัดตามแนวแกน (Axial homogeneity) ภายในช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ถูกประเมินเพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบ โดยวิธีการอย่างละเอียด อธิบายไว้ในภาคผนวก ข.

การทดสอบค่า Axial homogeneity ที่จำเป็นจะต้องทำที่จุดอุณหภูมิใช้งานของ Temperature block calibrators ที่มีค่าความแตกต่างจากค่าอุณหภูมิแวดล้อมมากที่สุด (ทั้งด้านบวกและลบ) ค่า Axial homogeneity ที่อุณหภูมิใช้งานอื่น ๆ สามารถใช้สมการเชิงเส้นมาประเมินได้ โดยจะต้องมีการทดสอบที่อุณหภูมิอื่นเพิ่มเติมด้วย โดยให้พิจารณาทำการวัดที่ค่าอุณหภูมิที่แตกต่างจากอุณหภูมิแวดล้อมอย่างน้อยหนึ่งจุด

หมายเหตุ จุดทดสอบที่ต่างจากอุณหภูมิแวดล้อม ควรกระทำโดยปรับอุณหภูมิ เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากอุณหภูมิแวดล้อม 20 °C อ้างอิงเอกสารมาตรฐาน EA 10/13 หัวข้อ 3.1.3

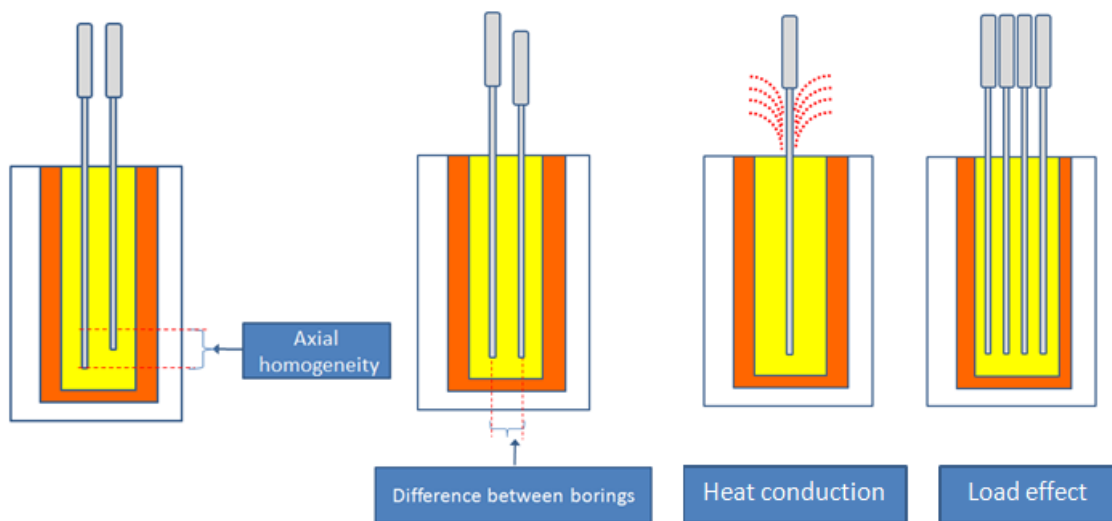
3.3 การประเมินความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่างช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ (Different between the borings)

การหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุดระหว่างช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ อย่างน้อยที่มีระยะห่างจากกันมากที่สุด (ตรงกันข้าม) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์สองตัว เพื่อลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปตามเวลา ควรมีการระบุตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์ที่จุดอ้างอิงในบริเวณทำการวัดและเทอร์โมมิเตอร์ที่อยู่ตรงข้าม

3.4 การหาผลกระทบของอุณหภูมิเนื่องจากโหลด (Load)

เมื่อใช้งานช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์หลายช่องใน Temperature block calibrators การประเมินเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิเนื่องจากโหลดในบริเวณทำการวัดสามารถกระทำได้ตามคำขอของลูกค้า โหลดเป็นผลกระทบของอุณหภูมิระหว่างการใช้งานเทอร์โมมิเตอร์เพียงหนึ่งตัวเทียบกับเมื่อใส่เทอร์โมมิเตอร์จนเต็มทุกช่อง การประเมินทำได้โดยสามารถแทนที่เทอร์โมมิเตอร์ด้วยท่อโลหะหรือเซรามิกส์* โดยการวัดต้องทำอย่างน้อยที่อุณหภูมิการทำงานของ Temperature block calibrators ที่มีค่าความแตกต่างจากค่าอุณหภูมิแวดล้อมมากที่สุด (ทั้งในทางด้านบวกและลบ)

หมายเหตุ (*) ท่อโลหะหรือเซรามิกส์ ควรมีความยาวพื้นเลยขอบ Temperature block calibrators อย่างน้อย 200 มิลลิเมตร อ้างอิงเอกสารมาตรฐาน EA 10/13 หัวข้อ 3.3.1 ซึ่งเป็นระยะที่เพียงพอสำหรับการนำความร้อนเพื่อประเมินการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพคุณลักษณะต่างๆ

3.5 ความเสถียรของอุณหภูมิตามเวลา (Stability with time)

ระบบจะเข้าสู่สมดุลความร้อนนั้นสัมพันธ์กับเวลาที่เหมาะสมสำหรับเริ่มทำการวัด โดยเฉพาะการทำการวัดนอกห้องปฏิบัติการหรือภายนอกสถานะแวดล้อมของการควบคุม ความเสถียร (Stability) คือ การประเมินการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากที่สุดในระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาทีหลังจากระบบเข้าสู่สมดุลในบริเวณทำการวัด การประเมินค่าความเสถียรห้องปฏิบัติการควรทำที่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของจุดสอบเทียบ

3.6 การเบี่ยงเบนของอุณหภูมิเนื่องจากการนำความร้อน (Heat conduction)

เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้สำหรับการประเมินคุณลักษณะของ Temperature block calibrators มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในบริเวณทำการวัด เนื่องจากการสูญเสียความร้อนสัมพันธ์กับการออกแบบและลักษณะของเซ็นเซอร์

หมายเหตุ เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากการนำความร้อน เทอร์โมมิเตอร์ที่นำมาใช้งานควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเทอร์โมมิเตอร์ไม่เกิน 6 มิลลิเมตร และระยะจุ่มไม่น้อยกว่า 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเทอร์โมมิเตอร์บวกความยาวเซ็นเซอร์ภายในเทอร์โมมิเตอร์ ดังมีรายละเอียดเพิ่มเติม ตามภาคผนวก ง.

4. การสอบเทียบ (Calibration)

การหาค่าความเบี่ยงเบนของค่าอุณหภูมิที่แสดงจากตัวอ่านของเทอร์โมมิเตอร์ของชุดควบคุมอุณหภูมิภายใน (หรือภายนอก) ของ Temperature block calibrators จากอุณหภูมิในบริเวณทำการวัดต้องกระทำโดยการสอบเทียบ ถ้าหากชุดควบคุมอุณหภูมิของ Temperature block calibrators ถูกตั้งค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ภายในหรือภายนอก ต้องทำเครื่องหมายและตกลงกับลูกค้า อุณหภูมิภายในบริเวณทำการวัดจะต้องวัดค่าด้วยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน (Standard thermometer) ที่ผ่านการสอบเทียบและสอบย้อนกลับได้สู่มาตรฐานแห่งชาติ

4.1 การวัด (Measurements)

วิธีการสอบเทียบทำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานใส่ในช่องตำแหน่งกลางหรือในตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ โดยจุดสอบเทียบกำหนดตามความต้องการของลูกค้า

ในแต่ละจุดสอบเทียบควรทำการวัดอย่างน้อยสองรอบ โดยนำค่าเฉลี่ยของการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิที่อ่านได้จาก ตัวอ่านของเครื่องกับอุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานที่อยู่ในบริเวณที่กำหนดไว้ รอบแรกให้วัดอุณหภูมิขาขึ้นจากน้อยไปหามากและขาลงจากมากไปหาน้อย ผลการวัดอย่างน้อยสองรอบต้องถูกบันทึกไว้เพื่อตรวจสอบว่าอุณหภูมิระหว่างทำงานของเครื่องมือเปลี่ยนแปลงหรือไม่

ค่าที่วัดได้ในแต่ละรอบทั้งอุณหภูมิขาขึ้นและขาลงจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละจุดสอบเทียบ ผลการสอบเทียบ (ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานกับอุณหภูมิตัวอ่านของ Temperature block calibrators) สามารถรายงานได้หลายรูปแบบ เช่น สมการคณิตศาสตร์ กราฟ หรือตาราง

4.2 ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainties)

ค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ Temperature block calibrators คือค่าความไม่แน่นอนของการวัดอุณหภูมิภายในช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ของเครื่องมือตามหัวข้อการวัด 4.1 ค่าความไม่แน่นอนนี้เป็นองค์ประกอบที่จะต้องนำมาคำนวณเมื่อนำเทอร์โมมิเตอร์มาสอบเทียบหาค่าอุณหภูมิในช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ ตัวอย่างของการคำนวณความไม่แน่นอนของการวัดนั้นให้ไว้ในภาคผนวก ก.

โดยองค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนที่จะต้องนำมาคำนวณมีดังต่อไปนี้

4.2.1 ค่าเบี่ยงเบนของอุณหภูมิที่แสดงจากตัวอ่านของ Temperature block calibrators จากอุณหภูมิในบริเวณทำการวัด

องค์ประกอบค่าความไม่แน่นอนที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน, ค่าความไม่แน่นอนจากการวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน, ค่าความ

ละเอียดของสเกลของตัวอ่าน (Resolution) และค่าความแตกต่างระหว่างผลการวัดในขาขึ้นและขาลง (Hysteresis)

4.2.2 การกระจายของอุณหภูมิในบริเวณทำการวัด

การเบี่ยงเบนของอุณหภูมิที่ตัวอ่านเทอร์โมมิเตอร์ควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่อง กับอุณหภูมิในบริเวณทำการวัด มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ การกระจายของอุณหภูมิ, จำนวนโหลดเทอร์โมมิเตอร์ในช่องใส่ และความเสถียรของอุณหภูมิ โดยปัจจัยเหล่านี้ให้ถือว่าเป็นอิสระต่อกัน

องค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอน u_i หาได้จากอุณหภูมิที่แตกต่างมากที่สุดที่ทำวัดได้ ($t_{max} - t_{min}$):

$$u_i^2(t) = (t_{max} - t_{min})^2/3$$

องค์ประกอบค่าความไม่แน่นอนจากหัวข้อ 3.1 ถึง 3.5 จะถูกทำการหาค่าสมการเชิงเส้นระหว่างจุดที่ทำการสอบเทียบ อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิอื่นใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง องค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอนในช่วงอุณหภูมิอื่นซึ่งมีการขยายออกไปจากอุณหภูมิแวดล้อมอย่างสมมาตร สามารถนำมาประเมินแบบค่าคงที่ได้

ตัวอย่าง การสอบเทียบของ Temperature block calibrators ในช่วงอุณหภูมิ $-30\text{ }^{\circ}\text{C} < t < +200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ณ อุณหภูมิห้อง $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ได้ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่แตกต่างมากที่สุดภายในบริเวณทำการวัดที่อุณหภูมิ $t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีค่าเท่ากับ $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ และที่อุณหภูมิ $t = +200\text{ }^{\circ}\text{C}$ เท่ากับ $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากการประเมินแบบสมมาตรจะได้ว่าช่วงอุณหภูมิ $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ คือ $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ผลของอุณหภูมิที่แตกต่างที่สุดในบริเวณทำการวัดสามารถประมาณการเท่ากับ $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนช่วงอุณหภูมิจาก $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ การหาค่าสมการเชิงเส้นระหว่างค่า $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ สามารถนำมาใช้ได้

4.3 ความไม่แน่นอนของการเบี่ยงเบนอุณหภูมิเนื่องจากการนำความร้อน (Heat conduction)

ค่าความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากผลกระทบของการนำความร้อนของเทอร์โมมิเตอร์ควรนำมาพิจารณาในทุกกรณี (ทั้งในกรณีเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ และเทอร์โมมิเตอร์ควบคุมภายนอกหรือเทอร์โมมิเตอร์ที่ถูกค้ำอ้างอิง)

5. การรายงานผล

ใบรับรองผลการสอบเทียบ (Calibration certificate) ที่รายงานผลการวัดควรคำนึงถึงความเข้าใจของผู้ใช้งาน เพื่อหลีกเลี่ยงความเป็นไปได้ของการใช้ผิดวัตถุประสงค์หรือความเข้าใจผิด อย่างน้อยที่สุดควรต้องรายงานค่าการเบี่ยงเบนอุณหภูมิของตัวอ่านเทอร์โมมิเตอร์ควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องกับอุณหภูมิในบริเวณทำการวัด พร้อมค่าความไม่แน่นอนที่สอดคล้องกัน และควรระบุรายละเอียดบริเวณที่ทำการวัด

คำแนะนำ : ควรแนบ “คำแนะนำของคณะกรรมการด้านเทคนิคของ EURAMET สำหรับการใช้ Temperature block calibrators” (ตามภาคผนวก ค) ในใบรับรองการสอบเทียบ ผลของการประเมินคุณลักษณะของ Temperature block calibrators ควรบันทึกไว้ในใบรับรองผลการสอบเทียบด้วย

หมายเหตุ ใบรายงานผลการสอบเทียบ ควรระบุรายละเอียดของการสอบเทียบ เช่น การใช้ฉนวนกันความร้อนปิดด้านบน หรือสอบเทียบในทิศทางแนวตั้งหรือแนวนอน

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการประเมินค่าความไม่แน่นอน

การสอบเทียบ Temperature block calibrators ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (ตามข้อควรระวังในหัวข้อ 1.1) ค่าอุณหภูมิ t_S คือ ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากบริเวณทำการวัดของ Temperature block calibrators โดยเทอร์มิเตอร์มาตรฐานและระบบสอบเทียบการวัด

ค่าการเบี่ยงเบนจากอุณหภูมิ t_R ที่อ่านได้จากตัวอ่านของ Temperature block calibrators :

$$\delta t = (t_R - t_S) + \delta t_S + \delta t_i + \delta t_H + \delta t_B + \delta t_L + \delta t_V$$

โดยแหล่งที่มาของค่าแก้และค่าความไม่แน่นอน ระบุได้ดังต่อไปนี้

δt_S	ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากเทอร์มิเตอร์มาตรฐาน
δt_i	ค่าความละเอียดสเกลของเทอร์มิเตอร์ควบคุม
δt_H	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิขาขึ้นและขาลงของรอบการวัด
δt_B	ความไม่เป็นหนึ่งเดียวกันของอุณหภูมิในช่องใส่เทอร์มิเตอร์
δt_L	โพลดของ Temperature block calibrators กับเทอร์มิเตอร์อื่น
δt_V	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาขณะทำการวัด

สถานการณ์ตัวอย่างนี้ถูกเลือกเพื่อกำหนดค่าองค์ประกอบความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ Temperature block calibrators ตามที่อธิบายมาแล้วก่อนหน้านี้ ในทางปฏิบัติค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิโดยใช้ Temperature block calibrators ปกติแล้วจะมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างนี้ เนื่องจากการสูญเสียความร้อนไปตามแท่งของเทอร์มิเตอร์ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของเซ็นเซอร์ โดยปริมาณต่อไปนี้จะถูกนำมาใช้เพื่อเป็นตัวอย่างเพื่อประกอบการอธิบายเท่านั้น

δt_S ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากเทอร์มิเตอร์มาตรฐาน (Standard thermometer)

ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ครอบคลุมถึง ค่า Hysteresis, การเลื่อนค่า, ความไม่เป็นเชิงเส้น, ค่า Self heating, การสอบเทียบและอื่นๆ

โดยประมาณการให้เท่ากับ $U = 0.03 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($k=2$)

หมายเหตุ กรณีที่เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานถูกสอบเทียบใน Liquid bath ค่าแก้และค่าความไม่แน่นอน เนื่องจาก Self heating ที่แตกต่างกันต้องนำมาคำนวณในค่า Uncertainty budget

δt_i ค่าความละเอียดสเกลตัวอ่านของเทอร์โมมิเตอร์ควบคุม (Resolution of indicator)

ตัวอ่านของเทอร์โมมิเตอร์ควบคุมของ Temperature block calibrators ตัวอย่างเช่น มีค่าสเกลเท่ากับ $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่งผลให้ข้อจำกัดของการอ่านค่าเป็น $\pm 0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$

หมายเหตุ ถ้าตัวอ่านของเทอร์โมมิเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของ Temperature block calibrators ไม่ได้เป็นหน่วยของอุณหภูมิ ค่าความละเอียดสเกลของตัวอ่านจะต้องแปลงออกมาเป็นอุณหภูมิ โดยการคูณด้วยค่าคงที่ของเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง

δt_H ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิขาขึ้นและขาลงของรอบการวัด (Hysteresis effects)

ค่าอุณหภูมิที่แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิการวัดขาขึ้นและขาลงของรอบการวัดที่อุณหภูมิเดียวกัน มีค่าประมาณการไม่เกิน $\pm 0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$

δt_B ความเป็นหนึ่งเดียวกันของอุณหภูมิในช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ (Inhomogeneity of temperature in the boring)

ค่าอุณหภูมิที่เบี่ยงเบนเนื่องจากความไม่เป็นหนึ่งเดียวกันของอุณหภูมิในช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ ได้ประเมินจากการค่าอุณหภูมิที่อ่านได้เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะจุ่ม โดยมีค่าประมาณการไม่เกิน $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

δt_L ผลกระทบเนื่องจากโหลด (Loading effects)

ผลกระทบจากการโหลด (การใส่เทอร์โมมิเตอร์มากที่สุด) ต่ออุณหภูมิของบริเวณช่องตำแหน่งกลาง มีค่า $0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (ปรับเปลี่ยนไปได้ตามความเป็นจริงขึ้นอยู่กับแต่ละกรณี)

δt_V ความเสถียรของอุณหภูมิ (Stability in time)

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเนื่องจากความไม่เสถียรของอุณหภูมิในรอบของการวัด 30 นาที ได้ประเมินค่าไว้ไม่เกิน $\pm 0.03 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Quantity	Source of uncertainty	Estimate (°C)	Coverage interval (°C)	Distribution	Divisor	Uncertainty contribution (°C)
x_i						
$t_R - t_S$		0.48				
δt_S	Standard thermometer uncertainty	0.00	0.03	normal	2	0.015
δt_i	Resolution of Indicator	0.00	0.05	rectangular	$\sqrt{3}$	0.029
δt_H	Hysteresis Effects	0.00	0.05	rectangular	$\sqrt{3}$	0.029
δt_B	Axial Inhomogeneity	0.00	0.5	rectangular (*)	$\sqrt{3}$	0.289
δt_L	Loading effects	0.00	0.05	rectangular (*)	$\sqrt{3}$	0.029
δt_V	Stability in time	0.00	0.03	rectangular	$\sqrt{3}$	0.017
δt		0.48				0.294 (**)

(*) asymmetric distribution (เป็นการกระจายแบบไม่สมมาตร)

(**) ส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอนรวมที่ค่าความไม่แน่นอนขยายที่ความเชื่อมั่น 95 % ($k=2$) มีค่าเป็น 0.6 °C

การรายงานผล

อุณหภูมิบริเวณทำการวัด เมื่อตัวอ่านอุณหภูมิ (ของ Temperature block calibrators) แสดงค่า 400 °C คือ 399.5 °C ± 0.6 °C

ค่าความไม่แน่นอนขยายที่รายงานผลของการวัด คือความไม่แน่นอนมาตรฐานของการวัดคูณด้วยตัวประกอบครอบคลุม (coverage factor) $k=2$

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนสำหรับการหาผลกระทบบของการกระจายอุณหภูมิตามแนวแกน (Axial)

Temperature block calibrators ที่ใช้สำหรับสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์ มักถูกใช้งานในตำแหน่งลักษณะที่ต่างกันและความยาวเซ็นเซอร์เทอร์โมมิเตอร์ต่างกันทำให้เกิดความแตกต่างของตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณทำการวัด ผลการวัดการกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนของช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ในบริเวณทำการวัดเป็นองค์ประกอบที่ส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการสอบเทียบ (ซึ่งส่วนมากจะมีค่ามากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ ทั้งหมด) การหาค่ากระจายของอุณหภูมิตามแนวแกนนั้นมีความยุ่งยาก เพราะเทอร์โมมิเตอร์ที่ทำการวัดก็มีผลต่อค่าการกระจายอุณหภูมิด้วย ตัวอย่างเช่น เทอร์โมมิเตอร์ที่จุ่มลงไปในระดับความลึกที่แตกต่างกันนำไปสู่การนำความร้อนที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจกระทบต่อพฤติกรรมของอุณหภูมิของ Temperature block calibrators

ข.1. การหาผลกระทบบของอุณหภูมิแบบสามตำแหน่งโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีความยาวเซ็นเซอร์สั้น

เทอร์โมมิเตอร์ที่มีความยาวเซ็นเซอร์สูงสุด 5 มิลลิเมตร ถูกนำมาใช้วัดอุณหภูมิที่บริเวณด้านล่าง, ตรงกลาง และด้านบนของบริเวณทำการวัด เทอร์โมมิเตอร์ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกอยู่ที่ ≤ 6 มิลลิเมตร โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานแพลตินัม ในช่วงอุณหภูมิจาก -100 °C ถึง 250 °C และใช้เทอร์โมคัปเปิล (รวมถึงเทอร์โมคัปเปิล Pt/Pd) ในช่วงตั้งแต่ 250 °C ถึง 1300 °C

ตัวอย่าง: สำหรับเครื่องมือ Temperature block calibrators ที่มีบริเวณทำการวัดที่ระยะ 40 มิลลิเมตร จากปลายล่างของช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ การวัดภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้ มีความจำเป็น:

- (1) เทอร์โมมิเตอร์สัมผัสที่จุดล่างสุด
- (2) ดิ่งขึ้นหรือถอยออก 20 มิลลิเมตร
- (3) ดิ่งขึ้นหรือถอยออก เป็น 40 มิลลิเมตร
- (4) เทอร์โมมิเตอร์สัมผัสที่จุดล่างสุด

ข.2 การหาผลกระทบบของอุณหภูมิแบบโดยตรงด้วย Differential thermocouple

การหาความแตกต่างของอุณหภูมิแบบโดยตรงด้วย Differential thermocouple ซึ่งรอยต่อทั้งสองอยู่ห่างกันประมาณ 25 มิลลิเมตร สามารถวัดความแตกต่างได้หลายระดับในช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์จากจุดล่างสุด (สัมผัสที่ปลายล่าง) ขึ้นไปด้านบน การวัดที่ถูกต้องของอุณหภูมิที่แตกต่างควรถูกตรวจสอบก่อนการใช้งาน Differential thermocouple

นอกจากนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำเทอร์โมคัปเปิลแบบบล็อกหุ้มสองอันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาดเล็กประกอบเข้าด้วยกันและใส่ลงในช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์เดียวกัน ในขณะที่เทอร์โมคัปเปิลตัวแรกยังคงอยู่ที่จุดล่างสุด และวัดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิลตัวที่สองกับเทอร์โมคัปเปิลตัวแรกที่ระยะทราบค่า (เช่น 20 มิลลิเมตร และ 40 มิลลิเมตร) การแก้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิให้เป็นศูนย์นั้นสามารถทำได้เมื่อเทอร์โมคัปเปิลทั้งคู่มีระยะจุ่มเดียวกัน

ข.3 การหาผลกระทบของอุณหภูมิแบบสองตำแหน่ง

การหาการกระจายอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีเซ็นเซอร์ค่อนข้างยาว การขยับเทอร์โมมิเตอร์ไป 40 มิลลิเมตรนั้นจะไม่เหมาะสม (ความยาวปกติของความเป็นเนื้อเดียวกันในบริเวณทำการวัดของเครื่องมือ) ดังนั้นการวัดที่ระดับความลึกแตกต่างกันสองระดับ (ตัวอย่างเช่น การแตะที่จุดล่างสุดและยกขึ้น 20 มิลลิเมตร) ก็สามารถให้ข้อมูลที่เพียงพอสำหรับค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากผลกระทบของการกระจายอุณหภูมิ

หมายเหตุ จากหัวข้อ 4.2 องค์ประกอบของค่าความไม่แน่นอน u_i ในกรณีนี้ก็สามารถหาได้จาก $u_i^2(t) = (t_1 - t_2)^2 / 3$

ภาคผนวก ค

ANNEX C: Recommendations of the EURAMET TECHNICAL COMMITTEE "Thermometry" for the use of temperature block calibrators

Results reported in the calibration certificate have been obtained following the EURAMET Guideline cg-13. When the calibrator is used, the following points shall nevertheless be taken into consideration:

The calibration of temperature block calibrators mainly relates to the temperature of the block. The temperature of the thermometer to be calibrated in the block can deviate from this temperature. When a thermometer of the same type is used under measurement conditions identical to those during calibration, it can be assumed that the errors of measurement during the calibration of ideal thermometers are not greater than the uncertainties stated in the calibration certificate. If this is not the case (for instance use of different inserts or thermometers to those during calibration), the user of the block calibrator should confirm that the calibration results are still valid. Unless otherwise stated in the calibration certificate, it shall be ensured that

- the measuring element is in the measurement zone,
- the inside diameter of the boring used in the calibrator (and of the bushing, if present) is in the temperature range from $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+660\text{ }^{\circ}\text{C}$ at most 0,5 mm, and in the temperature range from $+660\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ at most 1,0 mm, larger than the outside diameter of the thermometer to be calibrated. If this requirement cannot be met, the customer must be aware that there will be a significant uncertainty contribution.

When thermometers are calibrated, an additional error of measurement due to heat conduction shall be taken into account. A good test for potential temperature deviations due to heat conduction is to check whether the display of the test thermometer changes when the thermometer is lifted up by 20 mm. Note that contributions to the uncertainty of measurement due to the thermometer to be calibrated (e.g. inhomogeneities of thermocouples) are not included in the measurement uncertainty of the calibrator.

The data given in the calibration certificate are decisive for the calibration, not the manufacturer's specifications. Before starting calibration, please discuss by all means the calibration and operating conditions with your calibration laboratory.

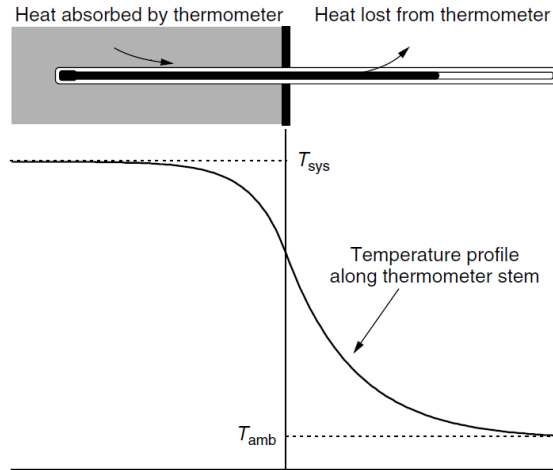
In all cases, the user must provide himself the means to control the metrological quality of the instrument.

ภาคผนวก ง

ความคลาดเคลื่อนจากการนำความร้อน/ระยะการจุ่ม

Heat conduction/ Immersion error

พิจารณากระจายของความร้อนของแท่งเทอร์โมมิเตอร์ในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิที่ทำการวัดไปยังอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม



ภาพการไหลของความร้อนไปตามแท่งเทอร์โมมิเตอร์ (จากอุณหภูมิร้อนไปสู่เย็น) เป็นผลให้อุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์อ่านได้แตกต่างเล็กน้อยไปจากตัวกลางที่สนใจทำการวัด [10]

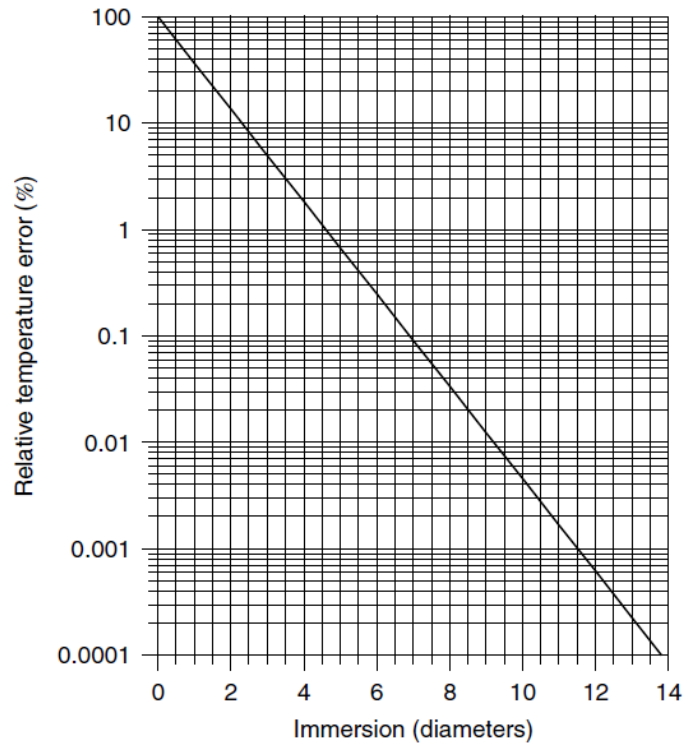
จากโมเดลทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อน ที่บอกอัตราการไหลของความร้อนจากปลายแท่งเทอร์โมมิเตอร์จะเกี่ยวข้องกับค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่อ่านได้จาก

$$\Delta T_m = (T_{amb} - T_{sys}) K \exp\left(\frac{-L}{D_{eff}}\right)$$

เมื่อ ΔT_m คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ; T_{amb} และ T_{sys} อุณหภูมิของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิและอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมตามลำดับ; L คือ ระยะจุ่มของแท่งเทอร์โมมิเตอร์; D_{eff} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเทอร์โมมิเตอร์; K คือค่าคงที่ ในที่นี้ให้เท่ากับ 1

จากความสัมพันธ์ที่อ้างถึงข้างต้น สามารถได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะจุ่ม (จำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง)และ

ค่าความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิสัมพัทธ์ (Relative temperature error : $\left| \frac{\Delta T_m}{T_{sys} - T_{amb}} \right|$) ได้ดังกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิสัมพัทธ์ (Relative temperature error :

$$\left| \frac{\Delta T_m}{T_{sys} - T_{amb}} \right| \text{) เป็น \% และระยะจุ่ม ในจำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเทอร์โมมิเตอร์ [1]$$

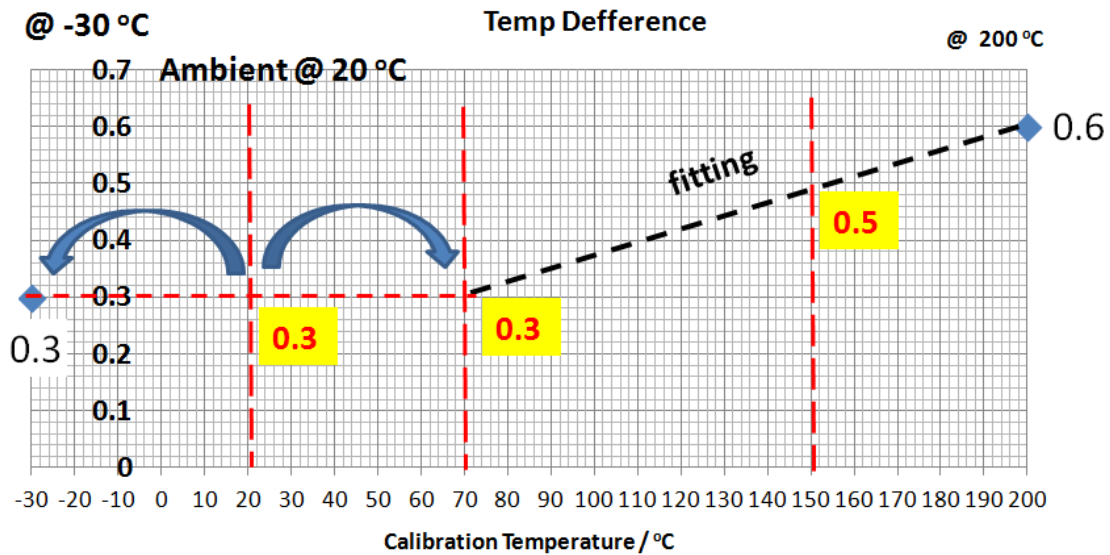
จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า

- สำหรับความถูกต้องระดับ 1% แนะนำการจุ่มแท่งเทอร์โมมิเตอร์ในระยะ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง บวกด้วยระยะความยาวของเซ็นเซอร์ เป็นระยะจุ่มที่สามารถใช้ได้ในการวัดอุณหภูมิทั่วไปในระดับอุตสาหกรรม
- สำหรับความถูกต้องดีขึ้นในระดับ 0.01% แนะนำการจุ่มแท่งเทอร์โมมิเตอร์ในระยะ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง บวกด้วยระยะความยาวของเซ็นเซอร์ เป็นระยะจุ่มที่ใช้ได้ในการวัดอุณหภูมิในความถูกต้องระดับดีของห้องปฏิบัติการ
- สำหรับความถูกต้องดีมากในระดับ 0.0001% แนะนำการจุ่มแท่งเทอร์โมมิเตอร์ในระยะ 15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง บวกด้วยระยะความยาวของเซ็นเซอร์ เป็นระยะจุ่มที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิระดับความถูกต้องมากที่สุด เช่น การวัดในแหล่งกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน

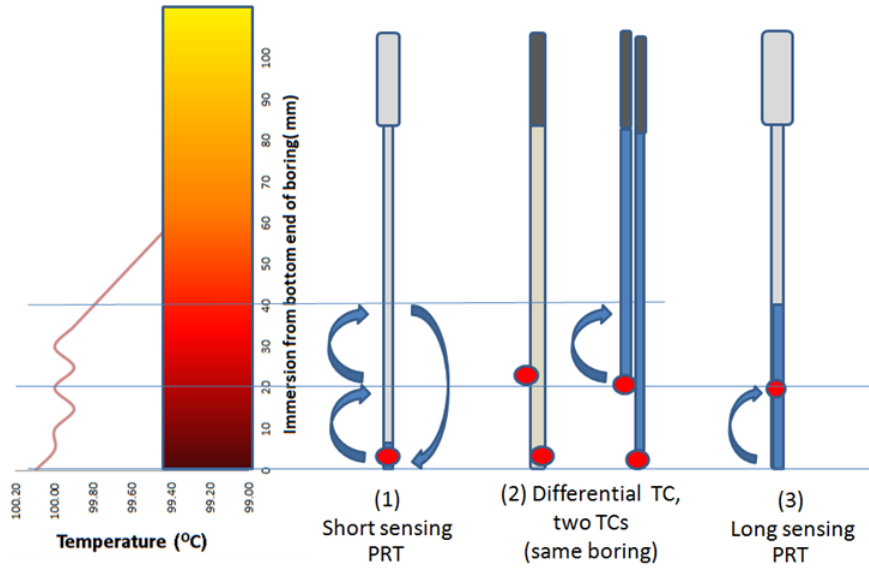
รายละเอียดเพิ่มเติมในการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก Immersion error สามารถอ่านเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง [1]

[1] D.R. White and J.V. Nicholas, Traceable temperatures: An Introduction to temperature measurement and calibration, *Immersion error*, pp.134-139, 2nd ed., John Wiley& Sons Ltd., England, 2001

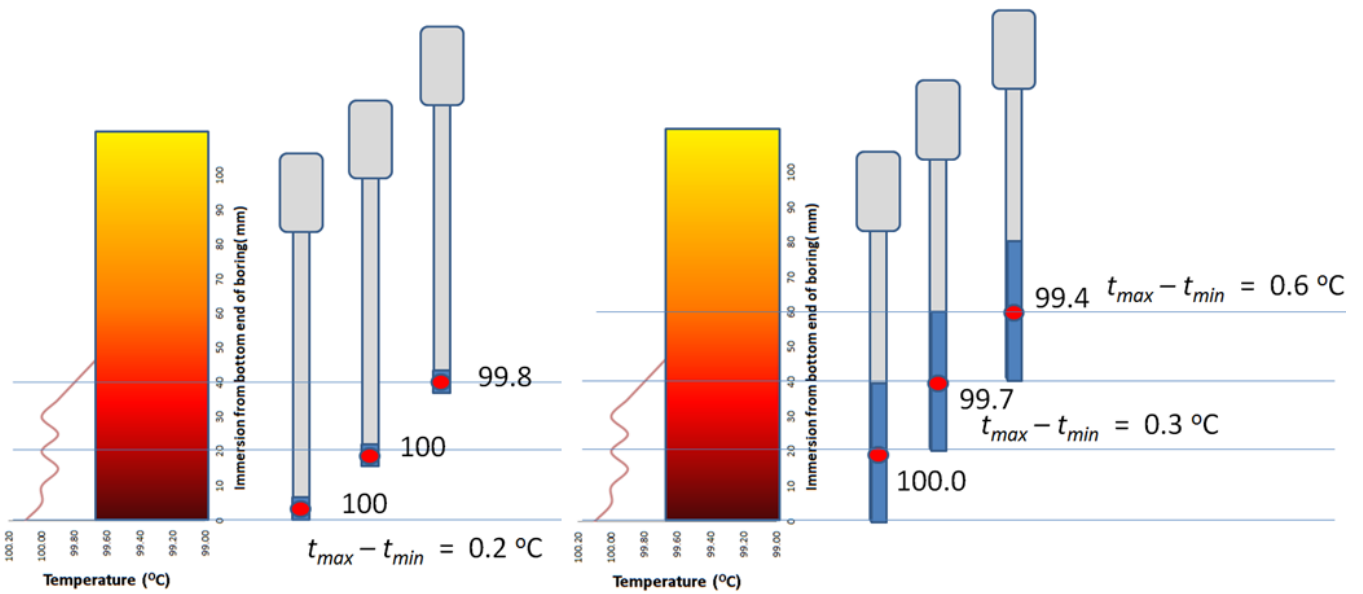
ภาคผนวก จ
รูปภาพประกอบ



รูป จ.-1 แสดงตัวอย่างการประเมินค่าคุณสมบัติแบบสมมาตร (รายละเอียดตามเอกสารหัวข้อ 4.4.2 หน้า 12) ผลการประเมินคุณสมบัติ ที่ อุณหภูมิ -30 °C และ 200 °C มีค่ากับ 0.3 °C และ 0.6 °C ตามลำดับ จากการประเมินแบบสมมาตรจากอุณหภูมิห้อง 20 °C จะได้ว่าช่วงอุณหภูมิ 20 °C ± 50 °C คือช่วง -30 °C ถึง +70 °C ผลของอุณหภูมิที่แตกต่างมากที่สุดในบริเวณทำการวัดสามารถประมาณการเท่ากับ 0.3 °C ส่วนช่วงอุณหภูมิจาก +70 °C ถึง +200 °C สามารถประเมินจากการหาค่าสมการเชิงเส้นระหว่างค่า 0.3 °C ถึง 0.6 °C เช่น ที่ 150 °C ประเมินได้ค่าอุณหภูมิแตกต่าง 0.5 °C



รูป จ.-2 อธิบายขั้นตอนการหาผลกระทบของการกระจายอุณหภูมิตามแนวแกน (Axial) ตามเอกสารภาคผนวก ข. หน้า 16-17



รูป จ.-3 เปรียบเทียบผลกระทบของการเลือกชนิดของเทอร์โมมิเตอร์ที่มีความยาวของเซนเซอร์ภายในต่างกันมาใช้ในการประเมินคุณสมบัติตามแนวแกน (รายละเอียดตามภาคผนวก ข. หน้า 16-17)